

都市部での自動運転車導入時の 乗降空間整備のあり方に関する研究

高山 宇宙¹・森本 章倫²

¹ 学生会員 早稲田大学大学院 創造理工学研究科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

E-mail:k-ginnga@asagi.waseda.jp

² 正会員 早稲田大学理工学術院教授 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

E-mail:akinori@waseda.jp

都市部での自動運転車の導入にあたっては、官民間問わず公道での実証実験が行われており、特にロボットタクシーの導入が検討されている。しかし、こうした自動運転車の導入に対応できる道路環境の検討はまだ不十分であると言える。そこで本研究は、都市部での自動運転車の社会実装の検討にあたり、特に自動運転車の乗降空間について着目し、その課題について体系的な整理を行った。自動運転社会下では道路上での乗降需要が増加する恐れがあることから、路外駐車場の整備・活用を行い乗降空間の再配分を行うことが重要となることが考えられる。

Key Words: Autonomous Driving, Autonomous Taxi, Boarding Space, Robot Taxi

1. はじめに

これまでの我が国での自動運転車の社会実装に向けた検討は、郊外部や中山間地域での実証実験等を通じた技術・システム面での課題の検証や、自動運転化が都市や交通にもたらす効果についての検証が中心であった。しかし、近年では自動運転社会を見据えた都市計画・交通計画のあり方についての議論が進みつつある。国土交通省が 2017 年度に設置した都市交通における自動運転技術の活用方策に関する検討会¹⁾では、自動運転の導入が都市に与える影響や、都市交通・都市交通施設のあり方、特に自動運転車と他の交通機関の乗換拠点となる交通結節点のあり方についての検討が行われてきた。

また近年では郊外部だけでなく都市部での自動運転車の実証実験の事例も増加傾向にある。2019 年 12 月には池袋の公道での自動運転バスの実証実験が国土交通省主導のもと実施された²⁾ほか、2019 年 10 月からは戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) として、東京臨海部の実交通環境下で信号実証実験や自動運転バスの実証実験が行われている³⁾。他方、民間主導の自動運転車の実証実験事例も増加傾向にある。ZMP ほか 7 社は 2020 年 1 月 20 日から 13 日間、東京都千代田区と中央区において自動運転タクシーの MaaS 実証実験を実施⁴⁾し、ラストワンマイルの移動サービスを公道上で検証したほか、2020 年夏にはトヨタ自動車によるお台場での自動実証実験⁵⁾や、ティアフォーほか 5 社による自動運

転タクシーの実証実験⁶⁾の実施が予定されるなど、自動運転車の社会実装に向け取組が官民間問わず進められている。

このように都市部でも自動運転車の導入に向けて議論や取組が進められているものの、その受け皿となる都市の道路環境が自動運転車の導入に対して適しているかは不明瞭であり、検討の余地を多く残している。

こうしたなか本研究は、都市部での自動運転車の社会実装の検討にあたり、特に自動運転車の乗降空間について着目し、その課題について体系的な整理を行うことを目的とする。

2. 既往研究の整理と基礎概念の構築

(1) 自動運転車に関する既往研究の整理

本節では自動運転車に関する既往研究の事例を整理し、都市部での自動運転車導入シナリオの検討と、導入時に想定される課題についてまとめる。

a) シェア型自動運転車に関する研究

自動運転車の普及シナリオには複数のパターンが想定されるが、無人自動走行の利点を活かしたシェア型運転車の導入を想定した研究の蓄積は多い。例えば、車両価格・都市半径・走行速度等がシェア型自動運転車の普及率に与える影響を示した研究⁷⁾や、仮想シミュレーションを通じてシェア型自動運転車の需要予測を行う研究⁸⁾

が挙げられる。また、シェア型自動運転車を郊外の都市に導入した際のライドシェア交通の成立可能性の検討⁹⁾や、駐車時空間の削減効果を示した研究¹⁰⁾があり、シェア型自動運転車が郊外の都市交通にもたらす効果についての検討が進められている。

一方、シェア型自動運転車の運行においては、サービス間に車両が無乗客で走行する時間が生じることが指摘されている。このような空走時間の発生について、運行サービスのレベルが高くなるほどCO₂排出量の増加傾向を示した研究¹¹⁾や、車両の相乗り無しの条件下では空走時間の発生により総走行距離が約 8%増加することを示した研究¹²⁾があり、空走時間の発生が都市交通に悪影響を及ぼす可能性が指摘されている。また、車両の相乗りについては、都市部において個別移動よりも相乗りのほうが車両台数の削減効果や待ち時間の短縮に寄与することを示した研究¹³⁾や、自動運転車の定員数と相乗りに対する許容度の関係を示した研究¹⁴⁾があり、相乗りを行うことで自動運転車の運行効率の向上や、適正な配車計画についての検討が行われている。

b) 都市部での自動運転車の利用需要に関する研究

自動運転車の利用意向・目的について、香月ら¹⁵⁾は東京 23 区や大阪市などの公共交通機関が十分に整備された大都市においても、自動運転車の利用意向率は 5 割を超えることを示しており、目的地に合わせて既存の公共交通機関と組み合わせた利用の需要があることを指摘している。また、Harb et al.¹⁶⁾では、仮想の自動運転車として運転者による送迎サービスを一般的な家庭に一週間導入した場合、導入前後の週に比べて大幅に走行距離・利用回数を増加させることを示し、自動運転車による送迎利用の需要があることを示した。

そうしたなか、ロボットタクシーの導入は、シェア型の自動運転車として現状のタクシーや Uber のような移動サービスの実現を可能にすることから、都市部での自動運転車の社会実装の一つの姿として期待されている。例えば Trommer et al.¹⁷⁾では、ドイツ全体でのロボットタクシー導入時の将来予測を行い、自家用車に代替する交通手段として 2035 年時点でのロボットタクシーの運営に採算性があることを集計的な推計モデルによって示している。しかしこの推計では、空間的な要素については扱われておらず、実際の都市の道路網において運行可能かどうかについての言及はない。

c) 自動運転車導入が道路に与える影響に関する研究

ロボットタクシーのような移動サービスは、Door-to-Door の移動需要が高く見込まれるため、沿道建物へのアクセスを見据えて道路上での乗降需要が高まることが予想される。しかし、都内で営業するタクシーの道路上の乗降位置の調査結果¹⁸⁾では、道交法違反となる交差点部や横断歩道付近での乗降が全体の 7 割近くを占めるこ

とが示されている。ロボットタクシーが現行法に準じる走行を行う場合、現状の道路上の乗降需要の多くのケースで乗降位置の適正化が必要となることが考えられる。

また、筆者らはこうした都市部の道路上での自動運転車の乗降について、道路構造令に基づいた仮想の道路の路肩部で乗降を行う仮想のマイクロ交通シミュレーションを行っている¹⁹⁾²⁰⁾。分析結果より、乗降可能な空間が道路上に広がるほど、道路上での駐停車車両が増えた際に交通流に与える影響が増大することを確認している。

(2) 本研究の位置づけ

既往研究より、自動運転車の社会実装においては、個人所有・個別移動よりもシェア型の利用・相乗り利用を行うことにより、自動運転車の効率的な運行が実現されることが示されている。一方で、空走時間の増加は環境負荷の増大や、車両台数・走行距離の増加に伴う交通への影響が懸念され、特に交通量の多い都市部での自動運転車の導入において喫緊の課題となることが予想される。

また、公共交通機関の整備された大都市においても自動運転車の利用意向は高く、ロボットタクシーのような移動サービスの需要は高く見込まれる。しかし、自動運転車の乗降について着目したとき、現行のタクシー利用実態を踏まえると乗降位置の適正化や、適切な路肩などの道路上の乗降空間整備が課題となることが予想される。

以上より、都市部での自動運転車の検討にあたっては、配車時の空走時間の増加や、自動運転車の乗降空間の整備が導入時の課題となることが明らかになった。本研究は、こうした課題の解決にあたり、都市で受入可能な自動運転車の車両台数の目安として駐車空間に着目し、都市部での自動運転車導入時の課題を抽出する点に特徴を有する。

3. 都市部の乗降空間のあり方に関する検討

(1) 都市部の駐車空間整備に関する基礎的整理

2章では自動運転車の導入時の課題として、乗降空間の整備が重要となることを示した。乗降空間の整備にあたっては、まずどのくらいの交通量を捌く必要があるかの定量的な把握を行い、需要に応じた空間整備が求められる。そこで本章では、都市において受入可能な自動車の集中台数の目安となる駐車場の整備状況に着目し、現在の駐車空間の整備に関する基礎事項を整理する。

一般的に、都市部の交通アセスメントにおいては、通常国土交通省が定める大規模開発地区関連交通計画マニュアル²¹⁾に則って発生集中交通量や路上駐車への対策を講じることが多い。本マニュアルに沿った分析・チェックを通じ、都市開発により生じる地区発生集中交通量の

予測，またそれに応じた周辺の都市計画道路や地区道路への影響予測を行い，交通問題が生じないような都市開発が図られる．これにより，駐車需要量の予測とそれに応じた駐車場計画，進入路計画が策定される．したがって，都市への流入交通量の適正化を図るにあたっては，需要予測に基づいて整備された駐車場の収容能力は重要である．

一方で，大都市では特区制度による容積率の規制緩和により，大規模建築物の建設に伴う附置義務駐車施設の整備の際に駐車場が供給過多となるケースが増加した．そこで，大規模開発地区関連交通計画マニュアルの改定と合わせて各地方公共団体が定める標準駐車場条例が改正され，附置義務台数の減免措置が図られた．代表的な事例として，大丸有地区の地域ルール²⁾が挙げられる．地域特性を反映した駐車需要算定手法を構築し，人の乗降などの短時間駐停車のための車寄せやタクシー乗降・待機バス，貨物車駐車を整備し，乗用車のための駐車空間を多用途に再配分している．

また道路構造令では道路の安全性・円滑性を確保する観点から，最低限確保すべき設計基準を設けており，車線数，車道幅員，設計基準交通量などについての指針を明示している²⁾．特に道路構造令第八条では，故障車の退避先や交通の安全性・円滑性の確保等を目的として路肩の設置要件・幅員の規定を設けるなど，人の乗降や積み卸し等の短時間駐停車としても利用できる空間整備の促進が図られている．

(2) 自動運転社会下の乗降空間設計に関する整理

a) 都市内へ受入可能な自動車集中交通量の算定方法

図-1に，前項で触れた内容を踏まえ都市に存在する車両の状態について整理する．都市へ流入する車両については，駐車場や車庫などでの保管状態と，短時間の停車を伴う乗降状態，道路上での走行状態の3つの状態に分類できる．このうち，保管と走行については受入可能な車両台数の目安が示されているが，乗降の空間については，駅前広場においてのみ28年式，小浪式，48年式，98年式等による各交通機関の乗降場の面積算定基準が示されている．一般道については道路交通法等によって駐停車可能な位置が示されているが，具体的な受入可能な車両台数については言及がない．自動運転社会下でのロボットタクシー導入による移動需要の増加や道路上での乗降空間の拡大が円滑な交通流を阻害する恐れがあることを踏まえると，駐車場の整備による保管機能や道路整備による走行機能の確保だけでなく，都市内の道路上で受入可能な乗降車両の目安と整備指針についても定量的なデータに基づいて検討されることが求められる．

時間単位	主な対象	空間整備に係る代表的な法令・計画指針
保管	<時間> 駐車場	・ 大規模開発地区関連交通計画マニュアル ・ 駐車場法（附置義務駐車施設） ・ 駐車場法施行令
乗降	<分> 路肩 駅前広場	・ 道路法 ・ 道路交通法 ・ 駅前広場計画指針
走行	<秒> 道路空間	・ 道路法 ・ 道路構造令

図-1 都市への流入車両の状態に関する整理

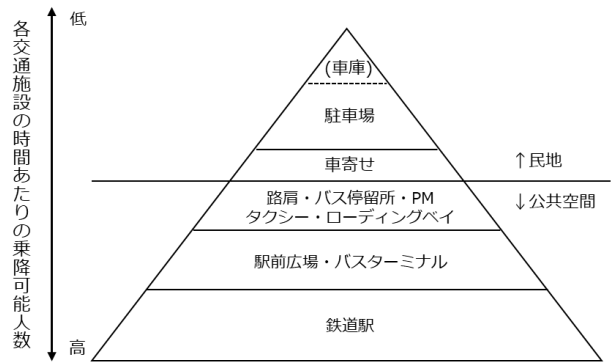


図-2 各交通施設の時間あたりの乗降可能な人数

b) 道路上の乗降需要の再配分の検討

図-2に各交通施設の時間あたりの乗降可能な人数の階層性を図示する．一時停車などで空間を占有する時間が短く大量輸送が可能な交通機関の関連施設ほど下層にあり，反対に駐車などで空間を占有する時間が長い，または個人利用となりやすい施設ほど上層に位置づけられる．このうち道路上の乗降や駐停車については路肩の停車帯やバス停留所，タクシーベイ，ローディングベイなどが該当する．一方で，国土交通省自動車局が定める自動運転車の安全技術ガイドライン²⁾では，無人自動運転移動サービスに用いられる車両の安全性を確保するため，自動運転の継続が困難となる非常時においては，路肩を退避先としている．よって安全側の設計を取る場合，現状以上に路肩での乗降可能な空間が縮減することが考えられる．このようななか，受入可能な乗降・駐停車車両台数を乗降需要が超過する場合は，公共空間だけでなく民地側の車寄せや路外駐車場の整備・活用を行い，道路上の乗降需要を路外の空間に再配分することも重要である．

c) 自動運転化による影響を踏まえた乗降空間の検討

図-2に示した各交通施設については，自動車の自動運転化に伴いレイアウトや機能に影響をもたらすものがあることが指摘されている．例えば，駐車場については，車両の無人運転化により可能となった各駐車車両を一元的に管理する適切なオペレーションによって，隙間なく車両を敷き詰めたレイアウトが実現できることが示されている²⁾．このレイアウトの場合，都市内の駐車スペースを平均で62%削減できることが指摘されている．

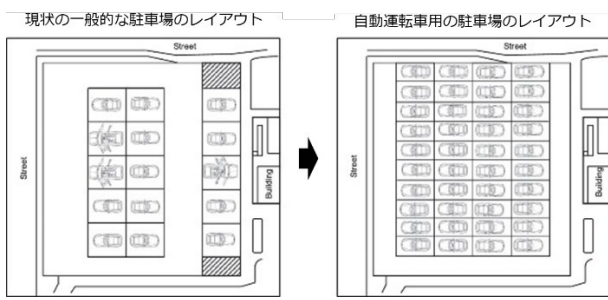
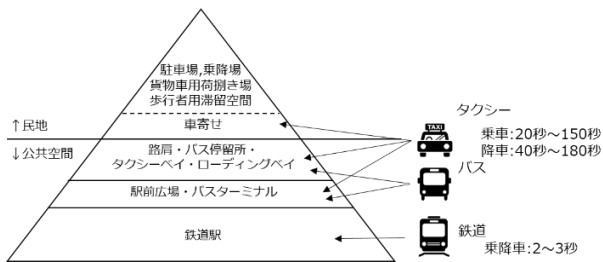
図3 自動運転車の駐車場のレイアウト設計²⁵⁾

図4 自動運転社会を見据えた乗降空間の配分イメージ

これにより削減できた駐車空間については、駐車場から呼び出したオーナーカーやロボットタクシーの乗降場や、貨物車専用の荷捌き場スペースの確保のほか、歩行者用の滞留空間等、様々な用途への転換が期待される。

(3) 都市部での乗降空間のあり方に関する一考察

前項までの整理により、都市部での自動運転車導入の検討にあたっては、自動車の保管機能や走行機能の観点から受入可能な集中交通量についての検討が可能である一方で、道路上の乗降機能の観点から受入可能な集中交通量を算定する手法については、まだ研究の蓄積が少ない。また、道路上での民地と公共空間の境目となる路肩の空間は、様々な交通機関の乗降場の役割や自動運転社会下では運転継続が困難になった際の待避所としての役割などを担うことから、路肩での乗降需要が受入可能な乗降車両台数を超過する恐れがある。したがって、現在の道路上での乗降需要を路外に再配分するなどの交通管理が重要となる。また、自動運転化により駐車空間が削減できることを踏まえ、乗降場や路外荷捌き場の整備、歩行者用の滞留空間の創出などを行うことにより、空間の高質化を図ることが期待される。

以上を踏まえ、図4に自動運転社会を見据えた乗降空間の配分イメージを図示する。鉄道、バス²⁶⁾の乗降時間に比べ、タクシーの乗降¹⁹⁾にかかる時間は長いことから、円滑な交通流の担保のためにも、積極的に道路上だけでなく路外駐車場を活用した乗降空間の再配分を検討することが望ましいと考えられる。

4. おわりに

本研究では、都市部での自動運転車の社会実装の検討にあたり、特に自動運転車の乗降空間について着目し、その課題について体系的な整理を行った。自動運転車の導入は交通量の多い都市部においては様々な交通問題を引き起こす恐れがあり、特に道路上での乗降位置の適正化に伴う路肩等での乗降需要の超過が予想される。そこで、これまでの駐車場や道路容量だけでなく、乗降可能かどうかという観点から都市の集中交通量を算定することが重要であると考えられる。また、道路上の乗降需要については、路外駐車場の整備・活用により乗降空間の路外への再配分の検討が図られることが望ましい。

今後は、乗降時間を踏まえた実道路環境に近い条件でのマイクロ交通シミュレーションを通じ、都市において受入可能な乗降車両台数の定量化を図り、乗降空間の観点からみた自動運転車の導入検討を展開していく事が重要である。

謝辞：本稿は、日本交通計画協会からの委託研究および早稲田大学特定課題研究助成費（課題番号：2019C-000）による研究成果の一部である。ここに謝意として表す。

参考文献

- 1) 国土交通省 都市局：都市交通における自動運転技術の活用方策に関する検討会 会議資料，2019.10
- 2) 国土交通省 都市局街路交通施設課：池袋で自動運転バスの実証実験！～都心部公道で導入上の課題や社会受容性を検証～，報道発表資料，2019.12
- 3) 内閣府総合科学技術・イノベーション会議：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期「自動運転(システムとサービスの拡張)」，http://www.sip-adus.go.jp/fot/fot01_01.php
- 4) 株式会社 ZMP：世界初，自動運転タクシー&自動運転モビリティを活用した空港から丸の内店舗までのMaaS 実証実験(2020年1月20日～2月1日)実施概要，<https://www.zmp.co.jp/event/zmp-maas2019>
- 5) Tier IV：ティアフォー，自動運転タクシーの社会実装に向け協業，<https://tier4.jp/news/20191114japantaxi/>
- 6) トヨタ自動車：トヨタ，2020年夏に日本でレベル4自動運転車の同乗試乗の機会を提供，<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/30344850.html>
- 7) 紀伊雅敦，横田彩加，高震宇，中村一樹：共有型完全自動運転車両の普及に関する基礎分析，土木学会論文集 D3(土木計画学)，Vol.73, No.5, pp.1_507-I_515, 2017.
- 8) 山本真行，梶大介，服部佑哉，山本俊行，正田正樹，

- 藤垣洋平：自動運転車によるシェアカーの普及に関する研究，第 53 回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM(全 4p)，2016.
- 9) 香月秀仁，東達志，高原勇，谷口守：郊外間交通へのシェア型自動運転車の導入可能性-トリップの時空間特性・個人属性の観点から-，都市計画論文集，Vol. 52, No. 3, pp.769-775, 2017.
- 10) 香月秀仁，東達志，高原勇，谷口守：シェア型自動運転交通"Shared-adus"導入による駐車時空間削減効果，都市計画論文集，Vol. 53, No. 3, pp.544-550, 2018.
- 11) 香月秀仁，東達志，高原勇，谷口守：シェア型自動運転車により自動車利用変化-空走時間発生による環境負荷への影響-，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.74, No.5, pp.I_889-I_896, 2018.
- 12) D. Fagnant., K. Kockelman., P.Bansal.: Operations of Shared Autonomous Vehicle Fleet for Austin, Texas, Market, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2536, pp.98-106, 2019
- 13) 山本真行，梶大介，金森亮，松館渉，落合純一，三嶋拓：都市部における自動運転ライドシェアのシミュレーション分析，第 57 回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM(全 5p)，2018.
- 14) 乾峻輔，森本章倫，古明地哲夫：自動運転車の定員数と相乗りの許容性に関する研究，第 57 回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM(全 6p)，2018.
- 15) 香月秀仁，川本雅之，谷口守：自動運転車の利用意向と都市属性との関係分析-個人の意識，交通行動に着目して-，都市計画論文集，Vol. 51, No. 3, pp.728-734, 2016.
- 16) M. Harb., Y. Xiao., G. Circella., P.Mokhtarian., J.Walker. : Projecting travelers into a world of self-driving vehicles: estimating travel behavior implications via a naturalistic experiment, *Transportation* 45, pp.1671-1685, 2018
- 17) Trommer, S., Kolarova, V., Fraedrich, E., Kröger, L., Kickhöfer, B., Kuhnimhof, T., Lenz, B. and Phleps, P.: Autonomous driving: The impact of vehicle automation on mobility behaviour, Institute for Mobility Research, 2016.
- 18) 高山宇宙，森本章倫：道路上でのロボットタクシーの乗降位置のあり方に関する研究，第 60 回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM(全 7p)，2019.
- 19) 岡野舜，高山宇宙，三浦清洋，森本章倫：レベル 4 の自動運転車導入における乗降環境を考慮した街路空間に関する研究，交通工学論文集，第 6 巻，第 2 号 (特集号 A)，pp.A_105-A_112, 2020.
- 20) 高山宇宙，岡野舜，森本章倫：自動運転車の乗降環境に着目した路肩空間のあり方に関する研究，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.75, No.6 (投稿中)，2020.
- 21) 国土交通省都市局都市計画課；大規模開発地区関連交通計画マニュアル (2014 年改訂版)，2014.6
- 22) 大手町・丸の内・有楽町地区駐車環境対策協議会：駐車施策からみたまちづくり 地域ルールの先がけ大丸有モデル，成山堂書店，2019.11
- 23) 国土交通省：道路構造令の各規定の解説，http://www.mlit.go.jp/road/sign/kouzourei_kaisetsu.html
- 24) 国土交通省自動車局：自動運転車の安全技術ガイドライン，2018.9
- 25) Nourinejad, M., Bahrami, S. and Roorda, M.: Designing parking facilities for autonomous vehicles, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 109, pp. 110-127, 2018.
- 26) 宇佐美誠史，元田良孝，金澤崇：バス乗降時間の要因に関する基礎研究，交通工学研究発表会論文報告集 Vol.25, pp.269-272, 2005.

(2020.3.8 受付)

RESEARCH ON THE WAY OF GETTING ON AND OFF ENVIRONMENT WHEN INTRODUCING SELF-DRIVING VEHICLE IN URBAN AREAS

Koki TAKAYAMA and Akinori MORIMOTO

When introducing self-driving cars in urban areas, demonstration experiments are being conducted on public roads, both public and private, and the introduction of robot taxis is being considered. However, it cannot be said that the examination of the road environment that can respond to the introduction of such autonomous vehicles is still insufficient. Therefore, in this study, in examining the social implementation of self-driving cars in urban areas, we paid particular attention to the boarding space of self-driving cars, and systematically organized the issues. In an autonomous driving society, there is a possibility that the demand for getting on and off the road may increase. Therefore, it is considered important to develop and utilize off-street parking lots and redistribute the getting on and off space.